

PENGEMBANGAN SENSOR KOMPAS DIGITAL DAN SENSOR AKSELERASI UNTUK MEMANTAU GERAKAN TANAH PADA BIDANG LONGSOR DALAM UPAYA PENGURANGAN RISIKO BENCANA

Sani Tanaka Ismawanto¹⁾, Risanuri Hidayat²⁾, Eka Firmansyah³⁾

^{1,2,3)}Jurusan Teknik Elektro dan Teknologi Informasi Fakultas Teknik UGM Yogyakarta
Jalan Grafika No 2, Kampus UGM Yogyakarta 55281 Telp (0274) 552305
e-mail : mega_tanaka@yahoo.co.id

Abstrak

Tanah longsor merupakan salah satu bencana yang sering terjadi di Indonesia. Sebaran bencana longsor sangat luas karena lebih dari 60% wilayah daratan di Indonesia merupakan daerah rawan longsor. Fakta menunjukkan bahwa masyarakat sering menjadi korban akibat belum optimalnya fungsi sistem peringatan dini bencana tanah longsor. Salah satu upaya pengurangan risiko bencana tersebut adalah dengan menerapkan teknologi sensor elektronis dalam sistem peringatan dini tanah longsor. Dalam paper ini pergerakan tanah dijadikan fokus utama dalam pemantauan, dimana perubahan posisi permukaan tanah menjelang longsor adalah parameter utama yang akan dipantau yang mengacu pada [creep theory]. Peranti yang dikembangkan dalam paper ini adalah alat yang dapat memantau perubahan kemiringan tanah pada sumbu X dan sumbu Y menggunakan sensor akselerasi. Peranti ini akan memberikan peringatan dini berupa suara sirine jika terjadi perubahan kemiringan tanah yang telah melampaui batas aman. Fitur tambahan pada peranti ini adalah sensor kompas digital yang dapat memantau arah diagonal dari perubahan kemiringan tanah akibat tanah longsor. Pemantauan arah diagonal bertujuan untuk memprediksi arah longsor tanah untuk menentukan jalur evakuasi yang aman. Hasil sistem yang dikembangkan mempunyai resolusi sebesar 1° dengan jangkauan pengukuran antara 0° - 85° pada sumbu X dan sumbu Y. Sedangkan pemantauan arah diagonal mempunyai resolusi sebesar 1° dengan jangkauan pengukuran antara 0° - 359° . Spesifikasi tersebut sudah memenuhi kriteria untuk membangun sistem peringatan dini tanah longsor.

Kata Kunci : sistem peringatan dini longsor, creep theory, sensor akselerasi, sensor kompas digital

1. PENDAHULUAN

Bencana longsor (gerakan massa tanah) merupakan salah satu bencana yang paling sering terjadi di Indonesia, terutama pada musim hujan. Dikhawatirkan kejadian longsor akan makin meningkat di tahun-tahun mendatang, akibat makin terusiknya lahan-lahan rentan longsor oleh kegiatan pembangunan yang kurang berwawasan lingkungan. Hasil dari paper ini diharapkan dapat memberi manfaat khususnya untuk penduduk yang bertempat tinggal di daerah rawan bencana tanah longsor yaitu berupa peranti pemantau tanah longsor sekaligus alat peringatan dini tanah longsor yang memanfaatkan teknologi digital sehingga hasil pemantauan lebih akurat dengan biaya yang relatif murah. Paper ini membahas tentang pengembangan teknologi sensor akselerasi untuk pemanfaatan deteksi kemiringan tanah pada bidang longsor sebagai pendukung sistem deteksi dini bencana tanah longsor. Ada 6 jenis tanah longsor, yakni: longsor translasi, longsor rotasi, pergerakan blok, runtuh batu, rayapan tanah, dan aliran bahan rombakan. Jenis longsor translasi dan rotasi paling banyak terjadi di Indonesia (Anonim, 2008). Dalam paper ini, peranti yang dikembangkan adalah untuk memantau jenis longsor translasi dan rotasi.

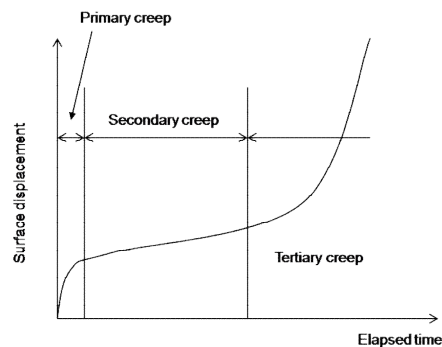
Gerakan massa tanah/batuan adalah gerakan menuruni atau keluar lereng oleh massa tanah/batuan penyusun lereng ataupun percampuran keduanya sebagai bahan rombakan, sebagai akibat dari terganggunya kestabilan tanah atau batuan penyusun lereng tersebut. Longsor adalah salah satu jenis gerakan tanah yang terjadi melalui bidang gelincir atau bidang luncur, baik yang berupa bidang luncur lurus membentuk bidang (translational) atau melengkung (Karnawati, 2005),.

Waktu terjadinya tanah longsor dapat diprediksi dengan 2 metode berikut ini:

- (1) Dengan menetapkan garis kritis pada grafik intensitas hujan dan curah hujan akumulatif (*critical rainfall threshold*) yang dikembangkan oleh MLIT (2004).
- (2) Berdasarkan pemantauan deformasi permukaan tanah dan teori rayapan (*creep*) yang dikembangkan oleh Saito (1965), Varnes (1982) dan Fukuzono (1985).

Dalam *creep theory* (Gambar 1), mekanisme gerakan rayapan (*creep*) dapat dibagi menjadi 3 tahapan yaitu *primary creep*, *secondary creep* dan *tertiary creep*. *Primary creep* terjadi dengan tiba-tiba tanpa diawali tanda-tanda longsor yang jelas seperti retakan, miringnya permukaan tanah atau munculnya mata air. Pada saat

secondary creep mulai terjadi, maka pemasangan pemasangan sistem pemantau gerakan mulai dilakukan untuk mempersiapkan peringatan dini dan evakuasi pada saat intensitas gerakan (*rate of movement*) meningkat pada *tertiary creep*.



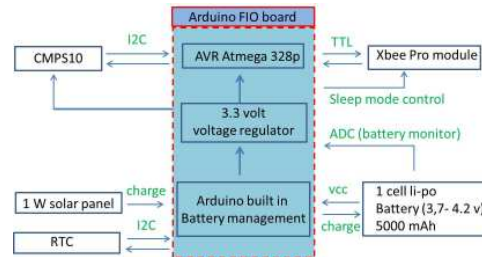
Gambar 1. Hubungan antara deformasi permukaan dan waktu untuk memprediksikan gerakan longsor.

Pada tahun 2008 ada sebuah penelitian yang menggabungkan beberapa sensor dalam satu sistem jaringan sensor (*sensor network*) yang disebut *Geosensor Web Enablement* sebagai sistem peringatan dini tanah longsor. Sensor yang tergabung dalam sensor network ini diantaranya *accelerometer*, *inclinometer*, dan *displacement transducer (extensometer)*. Mereka menggunakan *Geosensor Network (GSN)* sebagai media transmisi pengiriman data secara wireless dari lokasi yang dimonitor ke lokasi pemantauan. Tingkat efektifitas penggunaan sensor akselerasi pada jenis longsor *rotational* dan *translational* sangat baik untuk digunakan dalam sistem peringatan dini tanah longsor (Walter dkk., 2008). Pada April 2011, Herry Z dkk melakukan pengukuran sensor getaran pada perangkat Micaz yang digunakan untuk mendeteksi getaran akibat adanya pergerakan tanah. Hasil dari penelitiannya menunjukkan bahwa perubahan nilai *accelerometer* mulai dari 0,2g (*gravity*) sampai 0,49 g baik pada *accelerometer X* maupun *Y* menandakan tanah mulai bergerak tapi belum secara signifikan. Nilai 0,5g ke atas adalah nilai yang menunjukkan perubahan pergerakan tanah secara signifikan. Mulai pada 1g pergerakan tanah sudah menunjukkan aktivitas yang sangat kuat dan sudah mengkuatirkan (Herry Z, dkk, 2011). Pada tahun 2010 D. Hanto dkk mengembangkan sistem peringatan dini tanah longsor menggunakan sensor *accelerometer* tipe *microelectromechanical system (MEMS)*. *Accelerometer* yang digunakan adalah tipe ADXL330 buatan Analog Devices Inc. Sensor ini mampu mengukur 2 sumbu secara bersamaan dan mempunyai akurasi sebesar 3g dan sensitivitas sebesar 320mV/g sensor MEMS diletakkan pada pipa padat yang kemudian dimasukkan kedalam lubang dibawah permukaan tanah. Sensor akan membaca perubahan gerakan tanah yang disebabkan oleh kecenderungan pipa yang berubah kedudukannya. Sistem ini cukup akurat untuk mendeteksi pergeseran tanah serta cukup untuk membangun sistem peringatan dini bahaya tanah longsor (D. Hanto dkk, 2010). Di Indonesia sendiri, sistem peringatan dini tanah longsor telah dikembangkan oleh tim dari Fakultas Teknik UGM bekerjasama dengan Kementerian Percepatan Pembangunan Daerah Tertinggal (KPDT). Sistem ini diaplikasikan di dua lokasi yaitu di Desa Kalitlaga, Kecamatan Pagentan, Kabupaten Banjarnegara, dan di Dusun Lucu, RT Palongan, Desa Campoan, Kecamatan Mlandingan, Kabupaten Situbondo. Salah satu alat yang dipasang adalah *extensometer* yaitu alat untuk mengukur perubahan gerakan tanah. Alat ini mampu mengukur perubahan gerakan tanah lateral/horizontal, rotasional/vertikal maupun diagonal dengan sistem pembacaan manual (Anonim, 2010). Berdasar teori dan beberapa penelitian terdahulu maka dalam paper ini dikembangkan sistem peringatan dini bahaya tanah longsor dengan menggunakan sensor akselerasi untuk memantau atau mengukur besaran kemiringan tanah serta sensor kompas digital untuk memantau besaran perubahan kemiringan secara diagonal.

2. Tata Cara mendeteksi kemiringan tanah

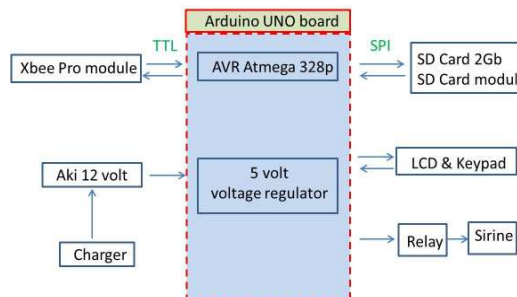
Perancangan aplikasi sistem peringatan dini tanah longsor dalam paper ini terdiri dari perakitan *hardware*, pembuatan perangkat lunak, dan pengujian alat. Dalam paper ini untuk membuat sistem pembacaan sensor dan sistem pengirim data diperlukan *hardware* diantaranya adalah Arduino FIO yaitu sistem minimal mikrokontroler berbasis AVR Atmega 328p. Sensor yang digunakan adalah sensor CMPS10 yaitu sensor *magnetic compass* dan sensor akselerasi yang tergabung dalam satu modul. Sensor akselerasi pada modul ini mempunyai ketelitian 1° baik sumbu x dan sumbu y dengan rentang pengukuran 0°-85°. Sedangkan sensor kompas mempunyai ketelitian 1° dengan rentang pengukuran 0-359°. Dalam penelitian ini digunakan komunikasi I2C untuk membaca data pada sensor. Untuk mengirimkan data pembacaan sensor secara nirkabel

maka digunakan modul Xbee Pro yaitu modul sistem komunikasi nirkabel dengan frekuensi kerja 2.4 Ghz. Modul RTC yaitu modul *Real Time Clock* berbasis DS1307 digunakan sebagai data waktu pengambilan data. Sebagai sumber tegangan digunakan baterai lithium 3.7 volt 5000 mAh. Untuk mengisi baterai lithium digunakan solar cell 1W. Semua bahan-bahan tersebut dirakit dengan diagram blok sistem seperti terlihat pada gambar 2.



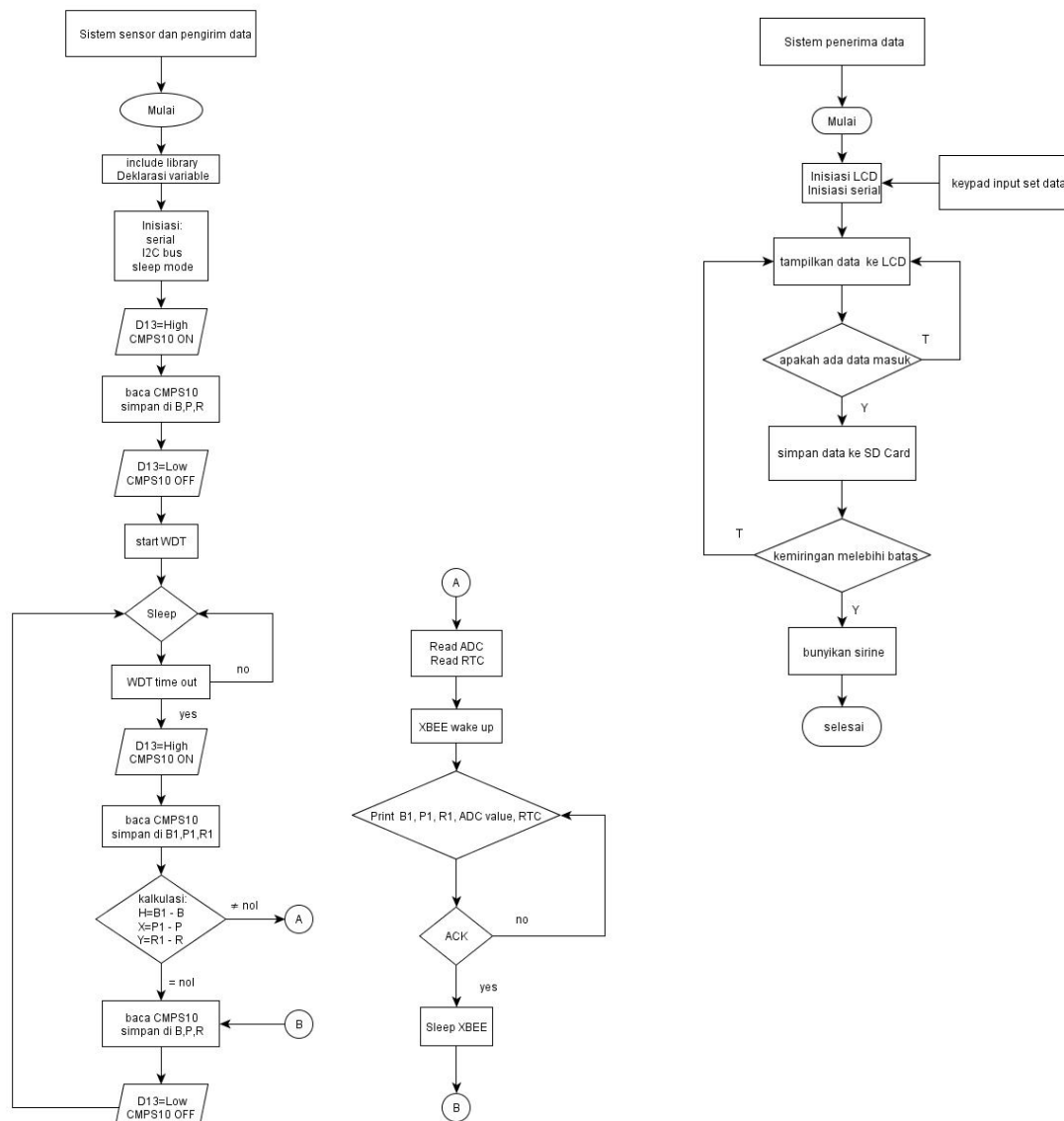
Gambar 2. Diagram blok sistem sensor

Bahan untuk membuat sistem penerima, *data logger* dan sirine peringatan dini yaitu menggunakan Arduino UNO yaitu sistem minimal mikrokontroler berbasis AVR Atmega 328p. kartu memori *Secure Digital card (SD card)* 2Gb dan *SD Card* modul digunakan untuk menyimpan data waktu dan data sensor. Xbee Pro modul yaitu modul sistem komunikasi nirkabel dengan frekuensi kerja 2.4 Ghz. Digunakan untuk menerima data-data yang telah dikirimkan oleh sensor. Modul LCD dan *Keypad* digunakan untuk menampilkan data dan mengatur sirine untuk berbunyi pada tingkat kemiringan yang membahayakan. Relay 12 volt 10A digunakan sebagai saklar elektronik untuk mengaktifkan sirine. Sirine 12 volt sebagai tanda peringatan dini. Alat pengisi baterai 12 Volt 10A sebagai pengisi baterai. Aki 12 volt 7,2 Ah sebagai sumber tenaga untuk sistem dan sumber tenaga sirine. Susunan *hardware* dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Diagram blok sistem penerima, sistem penyimpanan data dan sistem peringatan dini

Untuk dapat menjalankan semua fungsi *hardware* agar mampu memantau parameter-parameter terjadinya tanah longsor yaitu perubahan kemiringan tanah baik sumbu x dan y serta pemantauan arah diagonal maka dalam paper ini dikembangkan perangkat lunak dengan menggunakan Arduino versi 0023. Diagram alir perangkat lunak dalam paper ini dapat dilihat pada gambar 4.



Gambar 4. Diagram alir perangkat lunak sistem pengirim dan penerima

Dalam paper ini pengujian sensor kemiringan dilakukan dengan alat Accuangle 350 yaitu *anglemeter* (pengukur sudut) dengan ketelitian 0.1° dan sensor kompas diuji dengan kompas geologi Brunton 5006 dengan ketelitian sebesar 1° . Proses pengujian sensor akselerasi dan kompas digital dilakukan dengan meletakkan sensor sejajar dengan *anglemeter* dan kompas Brunton 5006. Pengujian sensor kompas digital dilakukan pada posisi mendatar (sensor akselerasi terbaca 0° pada sumbu X dan Y) dan disejajarkan pada sudut 0° atau arah utara.

3. Hasil dan pembahasan

Dalam paper ini pengujian dilakukan hanya pada sistem sensor saja. Pengujian dilakukan di laboratorium dengan alat *anglemeter* dan kompas Brunton 5006. Untuk menghitung persentase deviasi antara hasil pembacaan sensor dengan pembacaan *anglemeter* dan kompas, digunakan persamaan berikut:

$$\% \text{ error} = |((a - b) / b)| \times 100\% \quad (1)$$

Dimana :
a = nilai sumbu x atau y atau kompas digital
b = nilai sudut aktual *anglemeter* dan kompas

Hasil pengujian pembacaan sensor ini ditunjukkan pada table 1

Tabel 1. Tabel hasil pengujian sensor

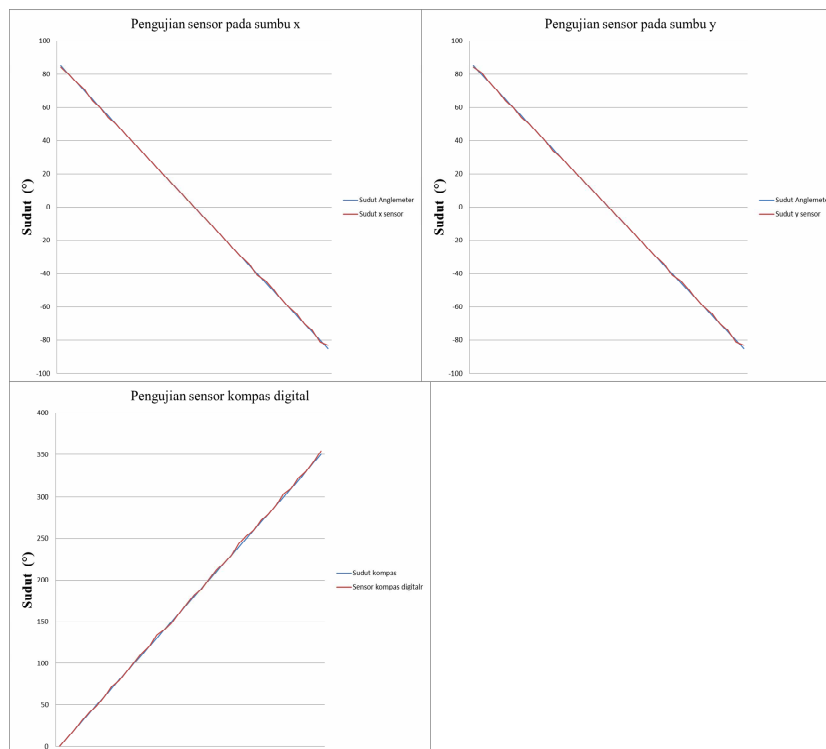
Anglemeter (°)	Nilai sumbu X (°)	Error (%)	Nilai Sumbu Y (°)	Error (%)	Brunton 5006 (°)	Sensor kompas digital (°)	Error (%)
85	84	-1%	84	-1%	0	0	0%
80	80	0%	81	1%	10	11	0%
75	75	0%	75	0%	20	23	0%
70	71	1%	70	0%	30	31	3%
65	64	-2%	64	-2%	40	41	3%
60	60	0%	60	0%	50	49	-2%
55	54	-2%	54	-2%	60	60	0%
50	50	0%	50	0%	70	72	3%
45	45	0%	45	0%	80	79	-1%
40	40	0%	40	0%	90	90	0%
35	35	0%	34	-3%	100	101	1%
30	30	0%	30	0%	110	112	2%
25	25	0%	25	0%	120	120	0%
20	20	0%	20	0%	130	134	3%
15	15	0%	15	0%	140	140	0%
10	10	0%	10	0%	150	148	-1%
5	5	0%	5	0%	160	160	0%
0	0	0%	0	0%	170	171	1%
-5	-5	0%	-5	0%	180	182	1%
-10	-10	0%	-10	0%	190	189	-1%
-15	-15	0%	-15	0%	200	201	1%
-20	-20	0%	-20	0%	210	212	1%
-25	-25	0%	-25	0%	220	220	0%
-30	-30	0%	-30	0%	230	230	0%
-35	-34	-3%	-34	-3%	240	244	2%
-40	-41	3%	-41	3%	250	253	1%
-45	-44	-2%	-44	-2%	260	260	0%
-50	-49	-2%	-49	-2%	270	272	1%
-55	-55	0%	-55	0%	280	280	0%
-60	-60	0%	-60	0%	290	290	0%
-65	-64	-2%	-64	-2%	300	304	1%
-70	-70	0%	-70	0%	310	310	0%
-75	-74	-1%	-74	-1%	320	323	1%
-80	-81	1%	-81	1%	330	330	0%
-85	-83	-2%	-83	-2%	340	341	0%
					350	354	1%

Rata-rata *error* sudut x = Σ error sudut x / jumlah data sudut x
= 22 / 35
= 0,62 %

Rata-rata *error* sudut y = Σ error sudut y / jumlah data sudut y
= 25 / 35
= 0,71 %

Rata-rata *error* kompas = Σ error kompas digital / jumlah data kompas
= 31 / 36
= 0,86 %

Dari tabel 1 dapat dibuat grafik hubungan antara nilai sudut aktual yang diukur oleh *anglemeter* dan kompas dengan nilai pembacaan sensor yang ditunjukkan pada gambar 5.



Gambar 5. Gambar grafik hasil pengujian sensor

5. KESIMPULAN

Dari ujicoba yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa sensor akselerasi dan kompas yang digunakan dalam paper ini mampu mengukur perubahan kemiringan sumbu x dan sumbu y serta sudut diagonal dengan tingkat kesalahan yang rendah. Dengan algoritma yang ada, peranti yang dikembangkan mampu memenuhi kebutuhan yaitu sebagai peranti untuk memantau perubahan kemiringan tanah sekaligus memantau arah diagonal pada bidang longsor. Peranti ini juga mampu memenuhi kriteria sebagai peranti pendeteksi dini bahaya tanah longsor dengan adanya algoritma yang dapat membunyikan sirine tanda bahaya ketika tingkat kemiringan dan laju kemiringan tanah pada bidang longsor sudah melebihi batas aman yang telah ditentukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim, 2008, Pengenalan Gerakan Tanah, http://www.esdm.go.id/publikasi/lainlain/doc_download/489-pengenalan-gerakan-tanah.html, diakses tanggal 1 April 2012.
- Anonim, 2010, Profil, <http://www.ews-ugm.com/profil/>, diakses tanggal 1 April 2012.
- D. Hanto, B. Widiyatmoko, B. Hermanto, P. Puranto, and L.T. Handoko, 2010, Real-time inclinometer using accelerometer MEMS, <http://arxiv.org/abs/1103.1678>, diakses tanggal 1 April 2012
- Fukuzono, T. (1985) A new method for predicting the failure time of a slope. Proc. 9th Int. Conf. and Field Workshop on Landslides, Tokyo, p.145–150
- Herry Z. Kotta, Kalvein Rantelobo, Silvester Tena, Gregorius Klau, 2010, Wireless Sensor Network for Landslide Monitoring in Nusa Tenggara Timur, TELKOMNIKA, Vol.9, No.1, April 2011, pp. 9~18e-ISSN: 2087-278X, Kupang, NTT, p-ISSN: 1693-6930
- Karnawati, D. 2005 Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya. Jurusan Teknik Geologi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia. ISBN 979-95811-3-3.
- Ministry of Land, Infrastructure and Transport, Japan (MLIT), 2004: Guidelines for Construction Technology Transfer, Development of Warning and Evacuation System against Sediment Disasters in Developing Countries, 2010: www.mlit.go.jp/sogoseisaku/inter/keizai/gijyutu/pdf/sediment_e.pdf, diakses tanggal 1 April 2012.
- Saito, M. (1965) Forecasting the time of occurrence of a slope failure. Proceedings of the Sixth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Montreal, Canada, Vol. 2, pp. 537-541.

- Varnes, D.J. (1982) Time-deformation relations in creep to failure of earth materials. Proceedings of the Seventh Southeast Asian Geotechnical Conference , (McFeat-Smith & Lumb ed.) Hong Kong, Vol. 2, pp. 107-130.
- Walter. K., Niemeyer. F., Bill. R., 2008, Geosensor Web Enablement in Early Warning System for Landslides, http://www.ikg.uni-hannover.de/geosensor/Lecture/Thursday/Session4/session4_walter_niemeyer.pdf, Diakses tanggal 1 April 2012.